

文章编号: 1000-8349(2011)01-0071-10

天文常数研究的进展

——IAU 2009 天文常数系统

金文敬

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 回顾了 1900 年以来 IAU 采用天文常数系统的简况, 以及一些天文常数之间的数学关系, 并描述了以前每次改变天文常数系统的主要原因。介绍了 1991 年以来 IAU 在天文常数方面的工作: 包括 IAU 天文常数工作组和天文常数最佳估计值的情况。叙述了 IAU 2009 年天文常数系统替代 IAU 1976 天文常数系统的原因: 随着人类对太阳系的探测, 获得新的天文常数测定值; 1991 年以来在相对论框架下 BCRS 和 GCRS 的使用; P03 岁差模型和 MHB2000 章动模型的采用。比较了 IAU2009 和 1976 天文常数系统的差异。最后介绍中国在天文常数方面工作的情况和今后工作的建议。

关键词: 天文常数系统; 太阳质心天球参考系; P03 岁差模型; MHB2000 章动模型

中图分类号: P129 **文献标识码:** A

1 引 言

天体运动的描述除了与参考架有密切的关系外, 在归算和结果比较时还与规范, 即天文常数与物理模型有关, 如为了把 B1950.0 的恒星视位置化算为 J2000.0 需要岁差和章动常数及岁差和章动的物理模型, 为了从恒星的运动研究银河系的运动需要奥尔特常数与银河系旋转的较差运动模型等。用于编算天文年历和计算天体位置的一组常数, 包括与地球大小和形状有关的赤道半径和扁率, 与地球质量和内部结构相联系的地心引力常数和章动常数, 与地球轨道运动和自转有关的天文单位和黄赤交角, 以及太阳、月球和行星的质量等物理参数等, 统称为天文常数系统。它们综合地表示出地球以及太阳系其他天体的力学特性和运动规律。这些常数是使用天文学、物理学或大地测量学的测量方法直接或间接测定的, 特别是 20 世纪 80 年代以来发展的各种空间技术也已应用于天文常数的测定。通常天文常数主要由定义

收稿日期: 2009-11-15; 修回日期: 2010-6-08

资助项目: 国家自然科学基金项目 (10878022, 10903022, 10903030); 中国科学院知识创新重要方向项目 (KJXC2-yW-T13)

常数、基本常数、导出常数以及行星质量四部分组成。各个常数的数值并不是完全独立的。根据天体力学理论,某些常数之间应该满足一定的数学关系式。例如,光行差常数与地球赤道半径和偏心率之间的关系;太阳视差与太阳、地球、月球质量之间的关系;岁差、章动与地球力学扁率之间的关系等^[1]。这样,在选定各个常数值时,除了应考虑它们的观测精度以外,还要考虑它们相互之间的理论关系。正因为如此,天文常数系统中的各个常数值不一定是当时最精确的测定值。天文常数系统的建立和修改,一般都经过国际会议讨论通过,并且规定各国的天文工作者在统一的时间内共同使用。自1900年到目前为止,先后建立了4个天文常数系统:纽康天文常数系统、IAU 1964天文常数系统、IAU 1976天文常数系统^[2]和2009天文常数系统^[3]。

1895年纽康发表了“四个内行星的要素和基本常数”一文,他收集了从Bradley时代至19世纪末所有的太阳、水星、金星、火星观测资料进行分析,以及各种常数独立的测定,所以1896年巴黎召开的Conférence internationale des étoiles fondamentales会议上给出了一组天文常数值,其中章动常数为 $9.21''$ 、光行差常数为 $20.47''$ 、岁差常数和黄道倾角分别为 $50.2564''/a$ (1900), $23^{\circ}27'8.26''$ (1900),各国年历的编算采用纽康天文常数系统。1911年再次在巴黎召开Congrès international des éphémérides astronomiques上决定继续采用这些天文常数^[2, 4]。荷兰天文学家de Sitter(1872—1934)首先指出纽康天文常数系统的缺陷,继后,1950年巴黎天文常数会议上指出纽康天文常数系统存在两个缺陷:(1)天文常数系统内部不一致,如回归年长度、恒星年长度、行星公转周期与赤经岁差值不一致;纽康星历表与布朗月历表中的太阳视差不一致;太阳视差和光行差常数与光速、地球赤道半径、地球轨道偏心率、太阳平均角速度不能满足数学关系式等。(2)纽康天文常数系统理论方面的缺陷,如没有考虑地球自转不均匀,历表中的引数为地球时,而不是更均匀的历书时或力学时。会上提出建立新的天文常数系统。随着行星雷达测距、历书时的引入和天文常数测定精度的提高,在1963年IAU第21次“天文常数系统”讨论会上提出了一组新的常数系统,此常数系统在1964年第12届IAU大会上通过,称为1964年天文常数系统。从此,天文常数系统中分为定义常数、基本常数和推导常数,各常数之间满足数学关系式,章动采用伍拉德刚体章动模型。随着人造卫星的发射和观测及新的太阳系行星飞船的发射,积累了大量高精度的观测资料,在1970年德国海德堡再次举行的天文常数国际会议上,大家认为由于1964年天文常数系统中黄经总岁差、黄赤交角、章动常数以及大行星的质量仍然采用纽康常数系统中的值,所以与其他常数之间存在矛盾,因此要求提出新的常数采用值,如岁差、章动常数等。1976年8月在法国召开的第16届IAU会议上,通过了IAU 1976天文常数系统。在1979年加拿大召开的第17届IAU大会上通过了Kinoshita提出1979章动模型,然而此模型还未启用,就被IAU 1980的章动模型(即Wahr模型)代替。继后,尽管天文学家一直提出采用新的天文常数值,但是一个天文常数的启用,影响到过去观测资料归算,要求统一系统,所以工作量非常庞大,因此天文常数系统一般要用10~20 a,而IAU 1976天文常数系统一直沿用了30多年。

有关IAU 2009天文常数系统的情况将在本文第2和第3章描述,第4章给出了我国的天文常数工作和对今后这方面工作的若干建议。关于天文常数的测定方法(包括了岁差和章动的监测)、天文常数系统(包括了各个天文常数之间存在的数学关系)以及天文常数与参考系

的关系(即不同的参考系中天文常数具有不同的数值,如日心和地心引力常数)的3个问题可以参考文献[1]。

2 IAU 2009 天文常数系统

天文历书的编制和各类天文观测归算中都需要天文常数,它一直受到国际天文联合会(IAU)的重视,如曾在1950年巴黎召开的天文常数会议,1963、1970和2000年以“天文常数系统”为内容的IAU第21次讨论会(Symposium)和第9、180次专题讨论会(Colloquium)。这也可以从天文常数工作组的设立和天文常数当前最佳估计值的公布两个方面给予说明。

1991年,第21届IAU大会上专门成立了天文标准工作组(WGAS),其中分为4个小组:(1)天文数值标准组即天文常数组(sub-group on Numerical Standard),组长为喷气推进实验室的Standish;(2)标准程序组;(3)用电子方法的发布组;(4)时间组。1997年设立了基本天文标准组(Standard of Fundamental Astronomy, SOFA),负责人为日本国立天文台Fukushima,2000年后Wallace和Hohenkerk先后任该组组长。2006年成立以美国海军天文台Luzum为首的基本天文数值标准组(Numerical Standard of Fundamental Astronomy, NSFA)。

自1982年后不断有天文学家提出采用新的天文常数,但是IAU对采用新的天文常数系统非常慎重,因为随着天文常数的改变,要把以前的天文观测归算至新系统,有庞大的工作量。实际上各研究组织已采用新的规范,如1985年MERIT(Monitoring of Earth-Rotation and Intercomparison of the Technique of Observation and Analysis)规范,1996和2003年IERS(International Earth Rotation and Reference systems Service)规范^[5],美国JPL编制DE(Development Ephemeris)系列历表的天文常数采用值等。为了解决因天文常数系统不经常改变而引起的与观测得到的新的天文常数测定值之间的矛盾,建议每年公布天文常数的最佳估计值(Current Best Estimates, CBEs)。1994年第22届IAU大会上公布了1994年天文常数的最佳估计值^[6],在IAU 180专题讨论会上又公布了IAU 2000年最佳估计值^[7]。直到2009年第27届IAU大会通过了B2决议:自2010年1月1日起采用IAU 2009天文常数系统,其中天文单位(Astronomical Unit, au)值还需在2012年IAU大会进行讨论^[2]。采用此决议的背景情况如下:

(1) 新的天文常数测定值的获得。随着太阳系行星飞船的发射,积累了大量高精度的观测资料,给出了新的天文常数测定值,如1989—2009年许多学者给出了3个最大小行星(Ceres, Pallas, Vesta)的质量与太阳质量之比,IAU 2009天文常数中采用了Pitjeva和Standish的结果,它们分别为 $4.72(3) \times 10^{-10}$, $1.03(3) \times 10^{-10}$, $1.35(3) \times 10^{-10}$,替代了以前的采用值: $4.39(4) \times 10^{-10}$, $1.59(5) \times 10^{-10}$, $1.69(11) \times 10^{-10}$ ^[8]。随着1967年3月甚长基线干涉技术(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)的成功,1982年Fanselow等人首先发表了用此技术得到IAU 1976岁差常数的改正值 $-0.38''/\text{cent}$ ^[9],继后,分别利用LLR(Lunar Laser Ranging)、联合的VLBI和LLR、1899年7月至1992年全球经典观测、自行

资料, 以及理论推导都得到 IAU 1976 岁差常数约 $-0.3''/\text{cent}$ 的改正值。2002 年, Herring 等人用 20 a 的 VLBI 观测给出的改正值为 $-0.296 0''/\text{cent}^{[10]}$ 。

(2) 广义相对论框架的使用。1991 年, 第 21 届 IAU 大会 A4 决议采用广义相对论框架下定义的 4 维时空坐标系统: 太阳系质心天球参考系 (Barycentric Celestial Reference System, BCRS) 和地球质心天球参考系 (Geocentric Celestial Reference System, GCRS), 质心坐标时 (Barycentric Coordinate Time, TCB) 和地心坐标时 (Geocentric Coordinate Time, TCG)。2000 年第 24 届 IAU 大会 B1.3—B1.5 决议对 1991 年 IAU 决议做了推广。其中有关时间转换参数为 L_G 和 L_B , 前者是与地球时 TT (Terrestrial Time) 和 TCG 有关, 即 $d(\text{TT})/d(\text{TCG})=1-L_G$; 后者是与 TDB (Barycentric Dynamical Time) 和 TCB 有关, 即 $d(\text{TDB})/d(\text{TCB})=1-L_B$ 。由此可以推算出 $1-d(\text{TCG})/d(\text{TCB})$ 的平均值 L_C , 在 1991 年以前观测资料归算中忽略了 L_G 和 L_B , 即认为其值为零^[11]。

(3) P03 岁差模型和 MHB 2000 章动模型的采用。2000 年, 第 24 届 IAU 大会 B1.6 决议: 2003 年 1 月 1 日起采用 IAU 2000 岁差—章动模型。为了适应不同的需求, 该模型又分为 A 和 B 两类: A 类采用 MHB 2000 章动模型, 精度为 0.2 mas; B 类采用 MHB 2000 的简式, 精度为 1 mas。该模型的岁差仅加入 IAU 1976 岁差速率改正, 它与动力学理论不符合。2006 年, 第 26 届 IAU 大会 B1 决议: 2009 年 1 月 1 日起采用 P03 岁差模型取代 IAU 2000 岁差—章动模型的岁差部分。另外, IAU 2000 大会 B1.8 决议定义了地球自转角 (Earth Rotation Angle, ERA) θ_0 替代了格林尼治恒星时。 θ_0 是沿天球中介极 (Celestial Intermediate Pole, CIP) 的赤道 TIO (Terrestrial Intermediate Origin) 和 CIO (Celestial Intermediate Origin) 之间的弧长, 反时针方向量为正。 θ_0 与 UT1 之间为线性关系^[12, 13]。

鉴于上述原因, 2009 年第 27 届 IAU 大会通过了 NSFA 工作组提出有关天文常数的 B2 决议。

3 IAU 2009 与 1976 天文常数系统的比较

IAU 2009 与 1976 天文常数系统比较有 3 个不同点:

3.1 划分常数的类型不同

IAU 1976 天文常数系统把天文常数划分为: (1) 定义常数 (高斯引力常数 k); (2) 基本常数, 天文单位 τ_A (以时间表示距离)、光速 c 、地球赤道半径 a_E 、地球力学形状因子 J_2 、引力常数 G 、地心引力常数 GM_E 、月球与地球质量比 μ 、黄经总岁差 P 、黄道倾角 ε 、章动常数 N ; (3) 推导常数, 太阳视差 π_0 、天文单位 au、日心引力常数 GM_S 、地球与太阳质量比、太阳质量; (4) 行星与太阳质量比的倒数。

考虑到众多学者意见, 如 Soffel 和 Klioner 建议, 天文常数分为固定常数、天体常数和初始值^[14]。IAU 2009 常数系统包括: (1) 固有定义常数, 光速 c ; (2) 辅助定义常数, 高斯引力常数 k 、 L_G 、 L_B 、 T_0 时的 (TDB-TCB) 值 TDB_0 、J2000.0 时的地球自转角 θ_0 和地球自转角的速率 $d\theta/dt$; (3) 固有可测量的常数, 引力常数 G ; (4) 推导常数, 天文单位 au 和

$d(\text{TCG})/d(\text{TCB})$ 的平均值 L_C ; (5) 天体常数, 地月质量比、水星, 金星等质量与太阳质量之比、4 颗小行星 Eros、Ceres、Pallas 和 Vesta 质量与太阳质量之比、地球赤道半径 a_E , 地球力学形状因子 J_2 及其长期项 dJ_2/dt 、日心引力常数 GM_S 、水准面的引力位 W_0 、地球平均角速度 ω ; (6) 初始值, J2000 时的黄道倾角 ϵ_{J2000} ^[15]。

3.2 采用的物理模型不同

以章动为例, 1964 年天文常数系统中 Woolard 章动采用刚体地球模型。IAU 1976 天文常数系统中 Wahr 章动序列推导时, 采用地球为一个周日自转的、无海洋的、处于流体静态平衡的椭球体, 包括弹性地幔、液态外核、固体内核。2009 天文常数系统中 MHB 2000 章动模型的理论力学公式考虑了粘滞-弹性地幔和海潮的影响、地幔和液态外核, 以及固体内核和液态外核之间的电磁耦合, 还包括了非刚体地球理论中经常忽略由带状和扇形潮汐引起的形变效应的非线性项^[16]。另外, 刚体模型的章动转换为非刚体地球模型的章动时, 采用了 MHB 2000 转换函数, 即基本地球参数 (Basic Earth Parameters, BEP) 的函数。MHB 2000 转换函数是把流体静态平衡 PREM (Preliminary Reference Earth Model) 中所有其他 BEP 固定, 用 VLBI 观测拟合了 7 个基本地球参数。这些参数为地球的动力学扁率 e 、液核的扁率 e_f 、核幔边界和内核边界电磁耦合常数 $\text{Im } K^{\text{CMB}}$ 、 $\text{Re } K^{\text{ICB}}$ 、 $\text{Im } K^{\text{ICB}}$ (Re 和 Im 表示参数的实数部和虚数部) 和分别表示整个地球和液态内核形变的弹性参数 κ 和 γ 。

再如岁差, IAU 1976 年天文常数系统中岁差采用 Lieske 模型^[17], 岁差表示式只展开至 t 的 3 阶项; IAU 2009 岁差采用 P03 模型, 赤道和黄道岁差用 t 的 5 阶多项式, 用力学方程式推导了赤道岁差, 并考虑了非刚体地球的各种影响, 如日月力矩中 J_4 的影响; 潮汐和 J_2 速率的影响等^[12]。此处赤道岁差和黄道岁差即以前使用学术用语的日月岁差和行星岁差, 这是根据 2006 年第 26 届 IAU 大会决议 B1 而改变名称的。该决议指出: 从 2009 年 1 月 1 日起 P03 模型将替代 2003 年 1 月 1 日启用的 IAU 2000 岁差和章动模型, 并采用了 2003 年 Fukushima 的建议, 把基于运动力而命名的“日月岁差”(指地球、月球和太阳之间相互作用引起的) 和“行星岁差”(指行星力矩引起的) 改用于地球赤道和黄道运动而命名的“赤道岁差”和“黄道岁差”^[18]。

3.3 采用的数值不同

表 1 列出 2 个系统中共同的天文常数, 但是采用不同的数值 (限于篇幅, 行星与太阳质量比的倒数未列出)。

4 我国的天文常数工作与若干建议

众所周知, 在天文年历出版以及高精度天文观测 (如 VLBI、SLR、LLR、脉冲星计时、守时和时间传递、GPS) 的归算中必须采用统一的天文常数系统 (如 IAU 天文常数系统), 有利于观测结果做相互比较。尽管在 IAU 天文常数组中没有我国天文学家参加, 在 2009 天文常数表和其他刊物中也没有提及我国在这方面的的工作, 但是我国学者非常关注这个课题, 曾翻译和撰写有关方面的内容^[1, 19, 20], 也做了一些天文常数测定和理论方面的工作, 如自行推导

表 1 2009 与 1976 天文常数的比较

	1976	2009
地球赤道半径 a_e	6 378 140 m	6 378 136.6 m
地球力学形状因子 J_2	$1.082\ 63 \times 10^{-3}$	$1.082\ 635\ 9 \times 10^{-3}$
引力常数 G	$6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$6.674\ 28 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
地心引力常数 GM_E	$3.986\ 005 \times 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$	$3.986\ 004\ 418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ (1) $3.986\ 004\ 415 \times 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ (2) $3.986\ 004\ 356 \times 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ (3)
日心引力常数 GM_S	$1.327\ 124\ 38 \times 10^{20} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$	$1.327\ 124\ 420\ 99 \times 10^{20} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ (1) $1.327\ 124\ 400\ 41 \times 10^{20} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ (3)
月球和地球质量比	$1.230\ 002 \times 10^{-2}$	$1.230\ 003\ 71 \times 10^{-2}$
黄赤交角 (J2000)	$8.438\ 144\ 8 \times 10^4 ''$	$8.438\ 140\ 6 \times 10^4 ''$
黄经总岁差 (J2000)	$5\ 029.096\ 6'' / \text{cent}$	$5\ 028.796\ 195'' / \text{cent}$
章动常数 (J2000)	$9.210''$	$9.205\ 233\ 1''$

注: (1)、(2)、(3) 分别对应于 TCB、TT、TDB 的值。黄经总岁差 (J2000) 和章动常数 (J2000) 在 IAU 2009 天文常数中未列出, 为比较起见, 作者给出此值。

岁差常数^[21], 广义相对论框架下天文单位的定义^[22], 用 1962.0—1982.0 年全球经典光学观测资料推导章动常数^[23], 用 1980 年 4 月—1995 年 12 月全球各种 VLBI 观测测定 IAU 1976 岁差常数和 IAU 1980 章动序列的系数的改正^[24], 包括海洋和大气的非刚体地球章动模型的建立等^[25]。为更好地开展这方面的工作, 作者有 3 点建议。

(1) 上海天文台参加 ILRS (International Laser Ranging Service)、IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) 和 IGS (International GNSS (Global Navigation Satellite System) Service), 并经常处理全球 SLR、GPS 和 VLBI 资料, 给出这些观测的全球解。在对全球这些资料处理中除了给出地球自转参数、全球板块运动和区域性地壳形变以外, 还可以从地球重力场测定中给出表征地球的形状和大小的参数、地球赤道半径和地球扁率, 以及地心引力常数 GM_E , 地球力学形状因子 J_2 和其变化 dJ_2/dt 。另外, 用激光卫星作为时间传递正在试验之中。

同样, 由全球 VLBI 资料中可以得到岁差常数和章动序列, 以进一步研究地球的液核参数, 如 RFCN (Retrograde Free Core Nutation) 的研究。

(2) 随着飞船太阳系的探测, 下列 4 类资料可以得到^[8]: 1) 自 1911 年以来外行星和其卫星的光学观测 (包括子午环、照相、CCD 等各种观测); 2) 自 1961 年以来至行星、月球反射器、火星着陆器和飞船 (如 Mariner-9、Viking landers、Pathfinder lander、Mars Global Surveyor、Odyssey、Mars Reconnaissance Orbiter) 的测距资料; 3) 1976 年 Viking Lander 和 1997 年 Pathfinder Lander 的差分测距资料; 4) 1990 年以来飞船的 VLBI 观测资料 (如探测金星的飞船: Magellan、Venus Express, 探测火星的飞船: Phobos、Mars Global Surveyor、Odyssey、Mars Reconnaissance Orbiter, 探测木星的飞船 Galileo)^[26]。

在行星/月球历书(如 JPL 的 DE、俄罗斯科学院应用研究所的 EPM、法国历算研究所 INPOP、中国紫金山天文台的 PMOE) 编算中对 8 大行星、太阳、一些大的小行星和月球的运动方程, 以及月球物理天平动采用数值积分, 并且拟合这些观测资料(其中火星 Pathfinder 的差分测距资料仅用于研究火星的旋转参数, 如岁差、自转速率的周年变化等^[27]), 同时推算天文单位、日心引力常数、地月质量比和一些大的行星质量^[8], 因此天文常数的测定是该工作的副产品。2003 年紫金山天文台独立编算了行星/月球历书 PMOE^[28], 在编算中拟合了各种观测资料, 如飞船的无线电雷达、行星及其卫星的天体测量观测等, 并在不断改进。特别应当指出: 1) 我国在太阳系行星、自然卫星和小行星光学观测方面的工作颇有成效^[29, 30], 但并未进入这类公共数据库; 2) 在 2009 年天文常数中天文单位还未最后确定, 拟于 2012 年在北京召开的第 28 届 IAU 大会上讨论, 在会上应当提出我们的意见。另外, 现在已有编号的小行星约 120 000 颗, 选择密近交会的小行星, 用密近交会前后小行星的观测和扰动方法可以得到一些小行星的质量及其星历表, 如 JPL 的 BC-405^[31]。从 2006 年至今, 我国小行星观测的数量名列世界前十名以内, 完全可以在这方面做出贡献。

飞船经过太阳系行星系统时, 可以测定飞船经过行星及其卫星的 GM 和半径。如 1986 年 1 月 24 日 Voyager 2 经过天王星行星系统时, 发现了 2 个新的光环 1986 U1R 和 1986 U2R 以及 10 颗新的卫星, 测定了天王星及其卫星 Miranda、Ariel、Umbriel、Titania 和 Oberon 的 GM 。如果 G 值已知, 则可以得到它们的质量。我国已开展太阳系的探测, 如向月球发射嫦娥系列号, 即将向火星发射萤火 1 号飞船, 今后还将向其他行星发射飞船, 因此用地面无线电跟踪站对飞船的测距和测速资料, 飞船成像系统的恒星-卫星像的光学观测, 以及地面对自然卫星的天体测量观测研究行星的引力场及其卫星的几何特征; 如果飞船上还载有其他仪器设备可以得到行星系统的物理特征^[32-34]。

(3) 虽然 MHB 2000 章动模型的基本地球物理参数考虑了内核、外核和地幔之间的各种耦合力: 惯性、引力、压力、电磁耦合, 与 VLBI 观测符合得很好(两者差值的 rms 约 100 μas), 但是在 2002 年以后仍然有不少学者对章动模型进行深入研究^[35], 如理论的改进(加入粘滞耦合), 决定基本地球物理参数的频域方法(Bayesian inversion method)^[36]和用实测的大气和海洋资料计算章动的 FCN 项等。特别是 VLBI 观测选择不同的射电源引起章动的 18.6 a 项的附加误差约 15 μas , 此误差随着周期变短而减小。由此使逆行自由核章动(Retrograde Free Core Nutation, RFCN) 周期和品质因素分别产生十分之几天和 200 的不确定性, 对于自由内核章动(Free Inner Core Nutation, FICN) 分别产生 100 d 和 100 的不确定性^[37]。随着各国航天局对火星的探测, 这项工作已经推广至火星章动的研究。我国在章动研究课题上已取得很多成果, 在二阶扁率精度下, 给出了包含海洋和大气、形状微椭且旋转对称的、处于非流体静平衡态的粘弹性地球的章动模型和序列, 并提出了地球内部各圈层之间较差转动对地球章动的可能贡献^[24]。今后我国有望在这方面继续做出贡献。

总之, 天文常数是一项长期的工作, 还需在其他工作开展的同时, 给予关注。

参考文献:

- [1] 叶叔华, 黄城主编. 天文地球动力学. 济南: 山东科学技术出版社, 2001: 209
- [2] Kovalevsky J, Muller I I. In: Kovalevsky J, Muller I I, Kolaczek B eds. Reference Frame in Astrometry and Geophysics, Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1989: 461
- [3] IAU 2009. IAU Resolutions, <http://www.iau.org>, 2010
- [4] Débarbat S. In: Soffel M, Capitaine N, eds. The Journées 2008, Systèmes de référence spatio-temporels: Astrometry, Geodynamics and Astronomical Reference System, Paris: Paris Observatory, 2009: 75
- [5] McCarthy D D, Petit G.. IERS Technical Note 32, IERS Conventions(2003), Frankfurt am Main, Germany: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, 2003 : 1
- [6] Standish E M. In: Appenzeller I, ed. Highlights of Astronomy, 10, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995: 180
- [7] Fukushima T. In: Johnston K J, McCarthy D D, Luzum B J eds. Proceedings of IAU Colloquium 180, Washington, DC: U.S. Naval Observatory, 2000: 417
- [8] Pitjeva E V, Standish E M. Celest. Mech. Dyn. Astr., 2009, 103: 365
- [9] Fanselow J L, Sovers O J, Thomas J B, et al. AJ, 1984, 89: 987
- [10] Herring T A, Mathews P M, Buffet B A. J. Geophys. Res., 2002, 107(B4): ETG 4-1
- [11] Rickman H ed. XXIVth General Assembly - Transactions of the IAU Vol. XXIV B, Proceedings of the 24th General Assembly, San Francisco, California: The Astronomical Society of the Pacific, 2004: 34-57
- [12] Capitaine N, Wallace P, Chapront J. A&A, 2003, 412: 567
- [13] Capitaine N, Guinot B, Macarthy D D. A&A, 2000, 355: 398
- [14] Soffel M H, Klioner S A. In: Capitaine N, ed. The Journées 2007 Systèmes de référence spatio-temporels: The celestial reference frame for the future, Paris: Paris Observatory, 2008: 58
- [15] Luzum B, Capitaine N, Fienga A et al. In: Soffel M and Capitaine N, ed. The Journées 2008, Systèmes de référence spatio-temporels: Astrometry, Geodynamics and Astronomical Reference System, Paris: Paris Observatory, 2009: 37
- [16] Mathews P M, Herring T A, Buffet B A. J. Geophys. Res., 2002, 107(B4): ETG 3-1
- [17] Lieske J H, Lederle T, Fricke W, et al. A&A, 1977, 58: 1
- [18] Fukushima T. AJ, 2003, 126: 494
- [19] К у л и о в К А. 新天文常数系统. 吴守贤译. 北京: 科学出版社, 1979: 1
- [20] 朱文耀, 黄城, 刘林. 天文学进展, 1988, 6(1): 52
- [21] Zhu Zi. Chinese Astronomy and Astrophysics, 2007, 31: 296
- [22] Huang T Y, Han C H, Yi Z H, et al. A&A, 1995, 298: 629
- [23] 李正心. 天文学报, 1989, 30(1): 39
- [24] Li Jinling, Wang Guangli. Chinese Science Bullitin, 1998, 43(12): 1019
- [25] Huang C L, Jin W J, Liao X H. Geophys. J. Int., 2001, 146(1): 126
- [26] <http://iau-comm4.jpl.nasa.gov/plan-eph-data/index.html>, 2010
- [27] Folkner W F, Yoder C F, Yuan D N, et al. Science, 1997, 278: 1749
- [28] Li G Y, Zhao H B, Xia Y, et al. In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C, eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 560
- [29] Peng Q Y, Vienne A, Wu X P, et al. AJ, 2008, 136: 2214
- [30] Zhao H B, Yao J S, Lu H. In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 565
- [31] Baer J, Chesly S R. Celestial Mech Dyn Astr, 2008, 100: 27
- [32] Jacobson R A, Campbell J K, Taylor A H, et al. AJ, 1992, 103(6): 2068
- [33] Jacobson R A, Antreasian P G, Bordi J J, et al. AJ, 2006, 132: 2520
- [34] Stone E C, Miner E D. Science, 1986, 233: 39
- [35] Dehant V, Lambert S, Folgueira M, et al. In: Capitaine N ed. The Journées 2007 Systèmes de référence spatio-temporels: The celestial reference frame for the future, Paris: Paris Observatory, 2008: 82

- [36] Koo L, Rivoldini A, de Viron O et al. In: Capitaine N ed. The Journées 2007 Systèmes de référence spatio-temporels: The celestial reference frame for the future, Paris: Paris Observatory, 2008: 91
- [37] Lambert S B, Dehant V, Gontier A.-M., A&A, 2008, 481: 535

Progress on the research work of astronomical constants: IAU 2009 astronomical constant system

JIN Wen-jing

(*Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China*)

Abstract: The situation of astronomical constant system adopted by the IAU since 1900 has been briefly reviewed. The mathematical relation between some astronomical constants and the main reason for the change of astronomical constant system each time in the past are described. Especially, the work on the IAU astronomical constant system, including the establishment of working groups and adoption of the current best estimates since 1991, is introduced. The background of the IAU 2009 astronomical constant system instead of the IAU 1976 astronomical constant system is given. As for this change the reasons are the appearance of new measurements of astronomical constants with exploration of the Solar system, application of the Barycentric Celestial Reference System and Geocentric Celestial Reference System under the relativistic reference frame after 1991 and the adoption of new models for precession and nutation after 2006. The comparison between the IAU 2009 and 1976 astronomical constant system is given. Finally, the work on astronomical constants in China, such as determination of precession constant from proper motion, the definition of astronomical unit under the relativistic reference frame, determination of nutation constant from globe optical classical observations during 1962.0—1982.0, Corrections to the IAU 1976 precession constant and the coefficients of the IAU nutation series from VLBI data by using various networks during April 1980—December 1995, establishment of a new nutation model of a non-rigid earth with ocean and atmosphere etc. is briefly mentioned. Some suggestions for the further work on astronomical constants are proposed as follows:

(1) Shanghai Astronomical Observatory (SHAO) incorporates the international organizations of ILRS, IVS and IGS. The globe solution are given from processing the observational data of SLR, GPS and VLBI routinely. By using these globe data not only the Earth Orientation Parameters, plate motion and regional crustal deformation but also the parameters of the shape and size and the equatorial radius and flattening of the Earth, the Geocentric gravitation constant, dynamical form factor and its long-term variation, which are related to the gravitational field of the Earth can be obtained. In addition, the experiment on time

synchronism between remote ground clocks and comparison of their frequency stabilities by using laser telemetry is being carried out recently. The information on the fluid core of the Earth, such as the resonant frequency associated with retrograde free core nutation (RFCN) can be further studied with analyzing the VLBI data.

(2) Since 2003 the PMOE planetary/lunar ephemeris has been compiled with fitting various observational data such as radar and astrometric observations for planets and natural satellite by a group at Purple Mountain Observatory. The astronomical constants are the by-products of this work. Especially it is pointed that the work on optical observations of planets, natural satellites and asteroids in China is remarkable. But these data are not collected in this kind of public database. It will be mentioned here that the astronomical unit has not been finally made the decision yet and will be discussed at the 28th IAU General Assembly, Beijing, 2012. We should pay attention to it.

In addition, the number of observing asteroids in China ranked among the top-ten observational programs in the world so the mass of asteroids and its ephemeris should be compiled by this group.

Recently, the exploration of the Solar system, such as lunar exploration project, Chang'E series, Martian exploration project, Yinghuo etc. is being carried out in China. The missions to other planets will be also launched in the near future. The planetary gravitational field and geometrical character of its satellites will be studied from various observational data, including range and velocity data of vehicles from Earth-based radio-tracking data, optical measurements of star-satellite imaging obtained with the imaging system on the vehicle and Earth-based astrometric observations of natural satellites. The physical character of the planetary system will be studied if there are other instruments on the vehicle.

(3) The MHB 2000 nutation model was adopted by the IAU in 2003. Meantime under the modified ellipticity profile of second-order accuracy for the non-hydrostatic and anelastic earth, including atmosphere and ocean, a nutation model and series were given by a group at SHAO. The effect of differential rotation between each layer in the earth's interior to nutation is also considered. With the Martian exploration project implemented by space agencies in many countries the Martian nutation has been studied. The contribution on this topic will be also made by this group in the future.

In brief, the determination of astronomical constants is a long-term work. This work should be combined with other research work, such as the compilation of planetary ephemeris, determination of earth's gravitational field etc..

Key words: astronomical constant system; Barycentric Celestial Reference System; precession model P03; nutation model MHB2000